

# 烧结合余热发电工程环冷机密封技术的改进优化

吴野

兴安热电有限责任公司

**摘要:**近几年,我国钢铁企业在各类节能、环保项目上进行了大量的投入,其中,以烧结合余热发电为热源的供热技术已有相当大的发展。与燃煤发电相比,它没有一次能量的消耗,也没有多余的废气、废渣、粉尘等有害气体,是一种对低温废气进行综合利用的好方法。如何获得高流速的高温烟气,同时保证全系统的经济运行,是烧结合余热发电的关键。通过对环冷机的密封技术进行改进,有效降低环冷机的漏风。

**关键词:**烧结合余热发电;环冷机;密封技术;改进优化

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2023.12.076

## 引言

烧结合余热回收是我国第一批节能推广的重点技术,通过多年的推广与完善,使其余热利用效率及发电能力大幅提高。通过对环冷机的密封系统的改进,使烧结合余热的利用和发电能力大大提高。烧结合环冷却机在原有的设计中没有考虑余热利用,且密封性能普遍不佳,因此,如何有效地解决环冷机的密封问题,是提高烧结合余热利用效率的一个重要手段。

## 一、环冷机工作原理

环冷机的驱动组成是两个互联 $162^\circ$ 的传动系统。这两种系统均悬挂于一固定的门型构架上,整体的驱动装置可围绕门型构架的转轴作小幅度的旋转,以减轻车架运转时的振动。环冷机台身采用铰接方式与旋转机架相连,台车身接收来自进料斗的高温烧结合矿石,并与旋转机架一起沿着水平环形轨迹做圆周运动。

## 二、环冷机漏风现象的原因和解决措施

### 1. 环冷机漏风现象的原因

环冷机运行时,台车和下部风箱是相对运动的,由于两者之间的温度有一定的差别,所以它们的内部压力会随着温度的变化而变化,但是在运行中,需要保持内部压力的稳定,所以要做好密封,避免由于内部压力的变化而引起的设备漏风。然而,在实践中,由于某些原因,环冷机的台车、下风室、烧结合矿等都存在着漏风的问题。

第一,台车在移动时,必须对其风室进行密封,而台车内温度较高,在运行中,由于其密封板在摩擦、高温、压力等因素的作用下,密封板受到摩擦、高温、压力等因素的挤压和作用,使密封圈发生了剧烈的膨胀,最后容易造成台车局部漏风。当存在漏风时,很容易发生漏烟,使得循环过程中的烟气温度逐步下降,不但增大了循环风机的负荷,还容易增加制冷系统的电能消

耗,且一旦发生渗漏,就只能等到烧结合结束后再进行检修,严重影响了台车的工作效率。

第二,通常在环冷机的台车与下风箱的密封中,由于橡胶的高硬度和强的耐磨性,所以使用的是最高效的橡胶材料的密封结构,保证环冷机的密封性得到提高。但是,由于橡胶材料自身的材料在长时间的接触中会发生氧化,使得其整体的弹性持续下降,另外,在运行的过程中,当烧结合余热回收设备启动后,其产生的高温辐射会造成橡胶密封材料的损坏,并且台车在运行中很容易与烧结合矿发生接触、摩擦,在长期的摩擦和碰撞下,密封橡胶很容易被破坏,从而造成漏风。

第三,由于环冷机初始设计时,为了保证台车的正常运转,需要将台车栏板和排烟罩留有一段间距。但是,在实际应用中在烧结合结束后,要用集气罩将其回收,但在实际操作中,台车栏板与集气罩间存在着较大的冷气流,使其排出,从而降低了烟气的回收率,又容易影响到车内的温度,使得密封结构的功能得不到充分发挥,从而造成漏风。

第一,在风箱的密封部分,除其他部分采用普通的橡胶密封件外,头部和尾部都采用金属密封材料,这样既可以防止台车与其他部件的撞击产生摩擦,又可以通过加入金属材料来提高密封件的品质,从而延长其使用寿命,提高密封性;第二,在环冷机投入使用前,要按照自身的特殊要求,选用合适的润滑油,同时,要帮助自动加注装置,给滑道上加润滑油,以提高它的滑动性和流畅性,降低漏气的概率。第三,对台车的滑轨进行及时的改造与优化,可以通过涂上耐温胶、加装挡风板或钢箍等方法来减少台车内的温度,并阻止外部冷气的扩散,尽量保持室内的温度,减少漏风量。第四,可以将弹性石墨条安装在台车的两侧和托架上,利用石墨的低硬度、强的阻挡摩擦、耐高温、耐腐蚀等特性,来保

护侧面和支架上的密封结构，降低和防止高温泄漏。

### 三、环冷机密封技术的改进优化

尽管上述措施可以起到一定的缓解作用，但仅能在短时间内实现对密封结构的维修与提升，而在长时间的运行中，仍然容易发生漏风，而当前国内各大企业在用的环冷机中，超过60%的环冷机都存在着密封问题，因此需要对其密封形式进行优化。而通过对各种密封形式中存在的问题进行分析，发现绝大多数的密封都是由于橡胶密封件的老化过快，一旦损坏就会产生漏风的情况。采取优化工艺操作，提高环冷机的密封作用，确保装置的平稳运行

已有的柔磁性密封技术已被提出。该方法主要是使用磁性刚刷，通过在钢刷与环冷机相应的部分进行摩擦、接触，从而改善台车等部件的密封性能，不仅不会受到温度的影响，还可以提高整体的密封性，防止漏风。在采用这种密封方式对环冷机的结构进行优化设计时，重点考虑了环冷机的底部和台车的横梁等部位。

#### 1. 环冷机底部密封结构的优化设计

环冷机底部密封包括底部密封装置、弹性密封装置、内部柔磁性密封装置。弹性密封的主要功能是改善接触件的紧密程度。利用磁性钢刷子和精矿粉进行环冷机下端密封的方法。为了保证密封的有效性，二者必须有合适的间距。内置软磁密封钢刷体，与内表面进行摩擦，达到密封性。

#### 2. 优化台车横梁密封

为防止烧结矿在环冷机中发生卡死，需将其横梁和台身保持一定间距，而目前大部分工艺都是使用橡胶密封。采用柔磁密封工艺，延长了设备的使用寿命，确保了设备的密封效果。

#### 3. 对环冷机密封进行优化后的益处

第一，通过优化环冷机的密封结构，可以显著地减少生产降温过程中的烟尘，并通过这种优化的方式，降低装置工作时的噪声，提高了环保水平。第二，最佳的密封形态能够更好地抵抗高温，并且在冷却之后，产品的品质也会有所提高，同时，通过这种密封的方式，可以减少橡胶密封件的磨损速度和替换速度，节约电力，延长环冷机的使用寿命，实现节能环保的目标。第三，采用这种密封的方式，可以降低烟气的散逸量，大大提高烟气的回收率，并能对烟尘进行及时的控制，从而使环冷机的工作效率得到进一步的提高，确保和提高企业的经济、生态和社会效益。

### 四、案例分析

新疆某烧结余热发电系统已经建成1台30MW的补气凝汽式汽轮发电机组配3台烧结余热锅炉的烧结余热回收机组系统。烧结余热发电系统在投入运行的初期，其蒸汽回收率与设计值相差很大。采用先进的环冷机密封技术，使环冷机的漏风大大减少，使烧结余热回收和发电系统的各项性能都有了很大提高。通过对环冷机进、出口热源的热平衡计算和分析，发现环冷机上部未回收余热所造成的热损失显著降低，热回收效率显著提高。

#### 1. 烧结余热发电系统的结构特征

新建的用于烧结余热发电的余热锅炉，采用一种双流道的烟气进气方式，锅炉尾气由再循环风机送入环冷机。该锅炉为双压力、无补充燃烧的烟流循环锅炉，每一台烟气循环风机。主要蒸汽压力为2MPa、温度为350℃、低压为0.5MPa、200℃。汽轮机主汽压为1.8MPa、温度为340℃、流量为120吨/小时、补充蒸汽0.4MPa、温度190℃、流量41吨/小时。30MW机组的设计发电量为20kWh/t矿，设计蒸汽回收率110.74kg/t矿，折合标煤13.93kgce/t。针对新疆地区冬季采暖时间长、冬季供热、夏季发电等特点，提出了利用蒸汽回收量作为余热利用效率的度量指标。

#### 2. 对环冷机的密封改进优化

在原有的环冷机下密封结构中，主要是采用了动、静两层的迷宫橡胶板。由于环冷机长期处于高温状态，传统密封胶容易老化，而且在连续运行过程中，密封胶的磨损也比较严重。环冷机上的密封主要是对台车栏板和集烟罩进行密封，原设计为钢刷柔性密封件，但是长期运行后磨损也很严重，台车栏板与集烟罩之间的间隙一般在3-5厘米之间，由于上部大量冷空气被抽吸进来，导致余热烟温大幅下降。通过热平衡计算，得出环冷机的漏风率在50%左右，需要对其密封进行改造。

通过对1号机组280m<sup>2</sup>环冷机的封严进行了技术升级，其核心是将原来的封严橡胶板密封换成了机械弹簧，该机械密封通过弹簧将密封片弹到台下表面外侧的平滑板上，从而构成了一种平面摩擦环形密封。所述密封滑板由弹簧，止挡块，限位拉杆等密封方式固定于波纹管的上缘。多块密封滑板沿着台车内环、外环与台车内环底滑道、外环底滑道相互接触，使其具有较好的密封性。将环冷机上部的密封换成了机械片式密封，将斜坡型摩擦滑道安装在环冷机台的围栏上，将耐热弹簧鳞片固定在热风罩的下方，在轴端三角形的位置，用机械

的金属密封件代替了原来的橡胶板,利用弹性机构的补偿来达到密封的目的。环冷机风箱端头采用全金属弹簧密封代替原有的环冷式风箱端盖固定密封箱。

通过对环冷机进行密封技术改造,使烧结余热利用率由原来的88.05kg/t提高至每月120kg/t,月最高可达145kg/t,发电能力超过20kWh/t,最高可达23kWh/t,远超设计值。考虑到余热锅炉的生产过程和节能的需要,环冷机鼓风机较以前减少了一台,只关闭鼓风机就能节省电能,而一台烧结机每月可节省12万元以上的电费。其余热利用效率、发电能力均有明显提高,节能效果明显。

### 3. 环冷机密封技术改造前后的热平衡分析

#### (1) 烧结环冷机改造前的热平衡计算

根据《设备热效率计算通则》GB2588-81,对该装置的热效率进行了计算:

$$\eta = QYX/QGJ \times 100\% \quad (1)$$

QYX表示有效能量(热量);QGJ是供热量。

在环冷机冷却系统中,有功(热)量指的是实现工艺要求所需的能量,也就是进入余热锅炉的有效风带回的热量与环冷机未段经过料层的空气所带热量的总和。但是,由于未段烟气量和烟气温度的测量比较困难,误差也比较大,所以把这部分纳入其他烟气散失项中,会使计算结果偏小。

#### (2) 改造前后热量平衡分析

在此基础上,利用同样的方法,对环冷机进行热量衡算,并将其转化为台时生产量,得到环冷机在改进前后的热量平衡,对环冷机的热量收支进行了计算。

根棍式烧结环冷机的热平衡计算与分析表明,环冷机系统的收入主要来自热烧结矿,约占到了74%,且所消耗的热量主要通过高效热风进入余热锅炉,因此,对环冷机的节能降耗具有重要意义。采用密封技术对环冷机进行改造,使环冷机的漏风率下降18.98%,热效率提高8.78%。采用密封技术改造后,耗热量最大的为无效热空气带走的热量,减少了5.79%。第二项热量消耗项 $\Delta Q$ 下降2.72%,因为大部分 $\Delta Q$ 项都是有效热量,所以环冷机系统的实际热效率要高于计算值。由此可以看出,这部分未回收的低温烟气余热还有很大的回收潜力。

在实际运行中,因环冷机在改造之前存在严重的漏风现象,使余热循环风机不能增大风量运行,只有将速度调节的液粘速度降至某一数值,才能获得最大的产汽

量。究其原因,是由于循环烟气量的增大,大量再循环烟由于不能穿过物料层,在下部轴封中逸出,同时上部封闭烟罩内有较多冷空气进入,导致入口温度降低,导致排烟热量的增加远远大于漏风损失的热量与空气温度下降产生的热量之和,导致蒸汽产量降低。

通过热平衡计算,在改造后,废烟罩高温段1#鼓风机被关闭,其目的是节省电力,同时避免环冷机鼓风机与余热锅炉循环风机产生的烟气发生碰撞,从而增大环冷式风机的风压及空气阻力,促进余热锅炉循环烟气的循环。

在环冷机上部余热锅炉烟气罩收集的烟气质量及再循环烟气流量,是影响烧结余热利用效果的关键因素。在余热锅炉中,由于环冷机的漏风,导致烟气质量差和烟气温度偏低,严重影响了余热回收的效果。如果不能从根本上解决环冷机的密封问题,就无法从根本上改善环冷机的热量利用效率。

### 五、结语

近年来,伴随着烧结余热利用项目的普及和推广,环冷机的密封技术也在不断地发展和完善,现有的密封技术可以有效地提高烧结余热的利用效率,同时提高整个烧结过程的能耗。随着环冷机密封工艺的不断改进和完善,对发电工程的经济效益和环保效益将产生巨大的影响。

### 参考文献

- [1] 张家元,李子蝶,赵玮忠,王建平,邓学求.环冷机台车热结构耦合分析[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2017,42(3):60-65.
- [2] 李圭文,雷建伏,可开智,何立波.韶钢烧结环冷余热回收效率提升实践[J].烧结球团,2017,42(4):58-61.
- [3] 刘耀辉,陶寿松,何立波.阶梯式自密封技术在烧结环冷机余热发电上的应用[J].冶金动力,2017(8):48-51.
- [4] 李伟,秦兴,刘霞.新型环冷机密封装置的设计与应用[J].中国金属通报,2019(9):167-168.
- [5] 张世民.宣钢450m<sup>2</sup>烧结环冷机密封技术的改进优化[J].冶金信息导刊,2020,57(1):31-32.
- [6] 舒良良,邓学求,孙文韬.环冷机台车热交换对流仿真及隔热结构设计[J].烧结球团,2020,45(5):29-33.